

Építmények hegesztett kötéseinek roncsolásmentes vizsgálati eredményeivel szemben támasztott követelmények

Dr. Rittinger János*

Bevezetés

A hegesztett kötésben megengedett eltérések mértéke függ

- a mértékadó igénybevétel nagyságától, és
- a szerkezet veszélyességétől.

Természetesen, a megengedett eltérésekben tükröződik az adott ország gyártási, mindegyik hegesztési és roncsolásmentes vizsgálati kultúrája.

A mértékadó igénybevétel alapján a szerkezet csoportokba sorolhatjuk. A csoportokat jól jellemzi a szerkezetek rendeltetése:

- acélszerkezetek, építmények,
- járműszerkezetek,
- nyomástartó edények és
- csővezetékek.

Az acélszerkezetek, építmények esetén az önsúlyhoz képest a statikus terhelés kicsi, jelentős a fázisú igénybevétel (nagysága függ a szerkezet és a terhelés kapcsolatától, pl. közúti híd, vasúti híd), gyakori a stabilitásra történő méretezés (ellenőrzés), illetve ezeket a szerkezeteket a gyártásuk, szerelésük során nem hőkezelik. A szerkezetek élettartama hosszú, 100 év.

A járműszerkezetek esetén jelentős a fázisú igénybevétel. A szerkezetek sorozatgyártás keretében készülnek. Meghatározó a robotokkal végzett védőgáz hegesztés és a hozaganyag nélkül végzett ellenállás (pont) hegesztés. Ma már elvárják a roncsolásmentes vizsgálat gyártósorba illesztést.

A nyomástartó edények igénybevételére a térbeli feszültségállapot a jellemző. A szerkezetek mértékadó hőmérséklete az alkalmazástól függ, ezért a környezeti hőmérsékletnél jelentősen kisebb vagy jelentősen nagyobb lehet. A kiváltások miatt $K_f = 2-2,5$ mértékű feszültségkoncentrációk jönnek létre. Az alkalmazás körülményétől függően kisciklusú fáradásra kell számítani. A folyáshatár alapján végzett méretezés szükséges, de nem elégséges a szerkezet biztonsága szempontjából. A gyártás során helyi vagy teljes terjedelmű hőkezelést alkalmazhatunk. A szerkezetek szavatolt élettartama az alkalmazás körülményétől függően 15-40 év. Gyakori eset, hogy az a technológia avul el, amelynek része a berendezés (pl. gyógyszeripar), ezért a tervezett élettartam előtt jóval hamarabb megszüntetik a szerkezetet.

A csővezetékek körvarratainak a belső nyomásból származó igénybevétele kicsi. Jelentős lehet a járulékos igénybevételből származó feszültség. A járulékos igénybevételek: az illesztés pontossága (éleltolódás, ovalitás), a felfüggesztések (tárlók) jósága és állapota. A körvarratokra az egyoldalról történő hegesztés a jellemző, az összes lehetséges hegesztési helyzetben. Hegesztést követően a helyi hőkezelés elvégezhető. A csővezetékek élettartamát, a nyomástartó edényekhez hasonlóan, az a technológiai folyamat határozza meg, amelyben részt vesznek.

Az önkényesen választott négy szerkezettípus jellemzői jelentősen eltérnek, így a hegesztett kötés roncsolásmentes vizsgálatnak eredményével szemben támasztott követelményekben is eltérésnek kell lenni. A nyomástartó edények és csővezetékek hegesztési varratainak roncsolásmentes vizsgálatával a IX. roncsolásmentes anyagvizsgáló szeminárium számos előadása foglalkozik, ezért a következőkben az acélszerkezetekre vonatkozó előírásokat tekintem át.

Az előírások változása

A roncsolásmentes vizsgálatokra és a vizsgálatok eredményeinek értékelésére, illetve az eredményekkel szemben támasztott követelményekre vonatkozó előírások jelentős mértékben megváltoztak. A változások a teljesség igénye nélkül címszavakban: a hibák jelentőségével összhangban felértékelődött a felületi hibák kimutatását szolgáló módszerek (MPV) jelentősége, a dokumentált minőség (állapot) érdekében a digitális technika és a számítógép alkalmazása az ultrahangos, örvényáramos vizsgálati technika területén, a vizsgálati technológia számítógépes tervezése, a komplex vizsgálati technológiák a nagy integritású szerkezetekhez, megszűnt a különböző típusú hibák összevonása (elsősorban statikus igénybevételű szerkezetek esetén), fokozatosan nő és egységes rendszert kezd alkotni a vizsgálati szemlélyel (szakmai és etikai szempontból egyaránt) támasztott követelmény, fokozatosan ketté válik az átvétel (QC) során támasztott követelmény az üzemelő szerkezetekkel, az időszakos ellenőrzések során támasztott követelményről. Az utóbbi esetben egyre jellemzőbb a „céla alkalmasság” (FFP, fitness for purpose) elv alkalmazása. Ezekről a változásokról többek között az [1] közlemény ad számot.

Közel múltban megjelent az MSZ EN 473 „Roncsolásmentes vizsgálatot végzők minősítése és a minősítés tanúsítása”, valamint az MSZ EN 25817 „Írányelvek acélok ívhegesztéssel készített kötéseinek csoportosítására a megengedett eltérések alapján”. Remélhetőleg egyre szélesebb körben tisztázást nyert és használatossá lett a folytonossági hiány, az eltérés, a hiba fogalma. Az MSZ EN 25817 szabványt ma még a hegesztők minősítésekor használják. A szabvány előírásaira kitűnően lehet támaszkodni, elsősorban fáradásnak kitett szerkezetek hegesztési varrataival szemben támasztott követelmények meghatározásakor.

Az acélszerkezetekre vonatkozó előírások

Az előírások elméleti alapja

Az előírások elméleti alapjait többek között a [2] munkában találhatjuk meg részletesen. A

repedésterjedés sebessége a Paris-Erdogan összefüggés szerint:

$$\frac{da}{dN} = A \cdot \Delta K^m$$

ahol

$$\Delta K = \Delta \sigma \cdot \sqrt{\pi a} \cdot Y$$

$$\Delta \sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} = (1-R) \cdot \sigma_{\max}$$

A behelyettesítést követően:

$$\frac{da}{A \cdot (\pi a)^{m/2} \cdot Y^m} = \Delta \sigma^m \cdot dN$$

Ha a törés N_f ciklus után következik be, miközben a repedés a_0 értékről a_f értékre nő

$$\int_{a_0}^{a_f} \frac{da}{A(\pi a)^{m/2} \cdot Y^m} = \int_0^{N_f} \Delta \sigma^m \cdot dN$$

Állandó amplitúdójú fáradás (egyszerűsítés) esetén a fenti összefüggés jobb oldala $\Delta \sigma^m \cdot N_f$ és ebből következik:

$$\lg \Delta \sigma = \frac{1}{m} \lg N_f + \frac{1}{m} \lg \int_{a_0}^{a_f} \frac{da}{A(\pi a)^{m/2} \cdot Y^m}$$

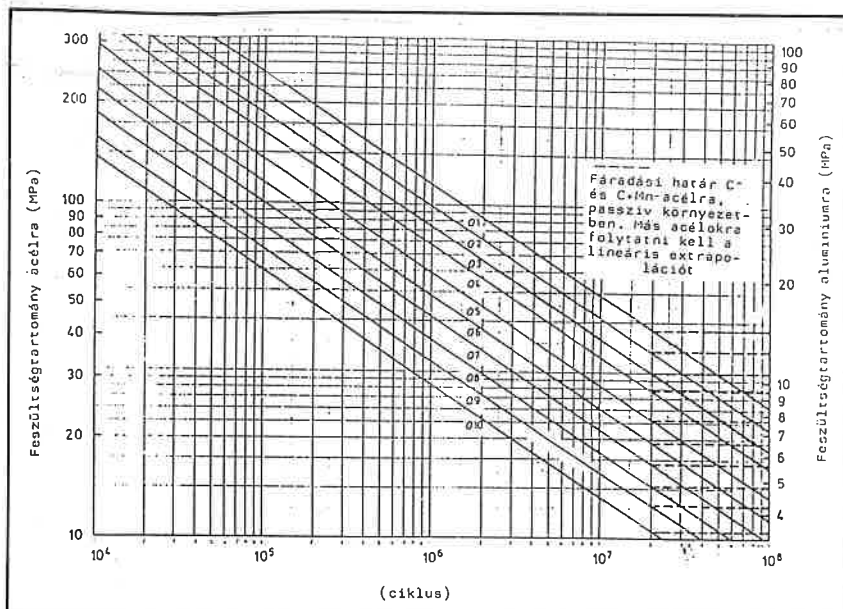
A fenti összefüggés egy $\Delta \sigma-N$ görbe (a jól ismert Wöhler-görbe), amelynek meredeksége $\lg-\lg$ léptékben $1/m$ és helyzetét az a_0 illetve az a_f határozza meg. A változó amplitúdójú terheléseket a Miner-elv [3] alapján veszi figyelembe. Maddox igazolta [4], hogy a változó terhelésű fázisú igénybevétel esetén a repedésterjedés-re is teljesül a Miner-elv.

A Paris-Erdogan összefüggés állandói $m=4$, az A értéke $P=99,9\%$ -os valószínűség esetén $1,7 \cdot 10^{-15}$. Ezek az értékek 100°C -nál kisebb mértékadó hőmérséklet, nem agresszív közeggel érintkező acélszerkezetek esetén érvényesek. Az összefüggésben ΔK $\text{Nmm}^{-3/2}$ -ben, a da/dN pedig mm/ciklusban szerepel.

A repedésterjedés sebességére és az élettartam kapcsolatára épülő követelmények

A BSI (British Standard Institution) PD 6493: *Írányelvek a hegesztett kötésben lévő hibák elfogadási szintjének számításai módszereire az 1. ábra szerinti összefüggést adja meg karbon, illetve karbon-mangán ötvöztetésű acéloknak. A hegesztési varratokat 10 osztályba sorolja. Az egyes osztályok esetén a megengedett kifáradási határ az 1. táblázat szerinti, illetve a megengedett eltéréseket a 2. táblázat tartalmazza.*

* állapotellenőrzési igazgató, Erőkar Rt.



1. ábra. A feszültség és az ismétlési szám kapcsolata $Q_1 \dots Q_{10}$ osztályok esetén. Hegesztett állapot.

I. táblázat

Az egyes osztályokhoz tartozó kifáradási
határok, Acélok (MPa)

Q	N = 10 ⁵	N = 2.10 ⁷	
	AsW, SR	AsW	SR
0	> 248	—	—
1	248	42	66
2	218	37	58
3	185	32	49
4	163	28	43
5	135	23	36
6	115	20	31
7	100	17	27
8	85	15	23
9	73	13	20
10	63	11	17

Megjegyzés: AsW hegesztett állapot
SR feszültségcsökkentő hőkezelés
utáni állapot

II. táblázat

Az egyes osztályok esetén megengedett
eltérések

Q	A salakzárvány hossza (mm)				Porozitás %
	AsW	SR	AsW	SR	
0	1,5	7,5	1,5	4,5	0
1	2,5	19,0	2,0	11,0	3
2	4,0	58,0	2,5	25,0	5
3	10,0	no max.	5,0	145,0	5
4	35	no max.	9,0	no max.	5
5	no max.		66,0	no max.	5
6...10	no max		no max.		5

A Q₅ kategóriáig veszi figyelembe a BS 5400 (Steel, concrete and composite bridges) Part 10 a hegesztési osztályokat, illetve a roncsolásmentes vizsgálat eredményével szemben támasztott követelményeket.

A BSI módszerhez hasonló a FEM (Fédération Européenne de la Manutention) [5] előírás. A hegesztett kötések 5 osztályba sorolják. Példaként: 0. esetnek számít egy megmunkált tompavarrat, 1. esetnek egy tompavarrat, illetve 4.

esetnek egy sarokvarrat. Az egyes esetekhez követelmény tartozik a roncsolásmentes vizsgálat eredményével szemben, illetve az egyes esetekhez a terhelés aszimmetriájától (R) függően adja meg a kifáradási határt a ciklusszám függvényében.

Az ismertetett előírások a tervezés, a gyártás és a roncsolódásmentes vizsgálat között szoros kapcsolatot, tökéletes információt áramlást tételnek fel! A rendszer nagy szabadságfoka magában hordja a célra alkalmas, gazdaságos szerkezetgyártás lehetőségét. Abban az esetben viszont, ha az információk lánc megszakad, jelentős veszéllyel kell szembe nézni.

Gyakorlati megközelítésen nyugvó megoldás

A gyakorlati megoldásra jellemző példa az ANSI/AWS D 1.1-94 Structural welding code. Steel 1994-ben megjelent 13. kiadása.

A structural welding code (SWC) a hegesztett kötések gyártását táblázatokban szabályozza a következők figyelembevételével:

- a kötés típusa,
- a vastagság és a beolvadás mérete,
- a varrat alakja,
- védelem nélküli hegesztés,
- hegesztő eljárás,
- hegesztési helyzet.

Az SWC a táblázatokat közli a teljesen átolvasztott (CJF), illetve nem teljesen átolvasztott (PJP) esetekre.

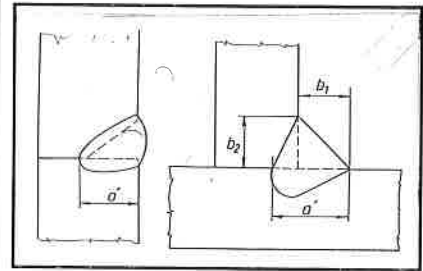
Az egyes esetekhez hozzárendeli a hegesztési technológia vizsgálatát, a hegesztők, a hegesztőgép-kezelők és a hegesztett kötések összeállítók (fűző hegesztők) minősítését, valamint a hegesztett kötés roncsolásmentes vizsgálati technológiáját.

A roncsolásmentes vizsgálat középpontjában:

- a varrat alakjának és méretének,
 - a felület alatti hibák és
 - az illesztési hibák
- ellenőrzése áll.

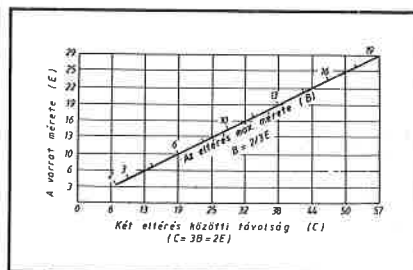
Az SCW előnyben részesíti a nem teljesen átolvasztott (PJP) hegesztett kötéseket, főként nyomott szerkezeti elemek és merőleges kapcsolatok esetén.

A lineáris és nem lineáris kapcsolatok esetén a varrat alakjának és méretének ellenőrzésekor a beolvadás mélységének meghatározása jelent az eddigi gyakorlathoz képest többletet a roncsolásmentes anyagvizsgáló számára. Erre mutat példát a 2. ábra.



2. ábra. Részben átoltvasztott (PJP) hegesztett kötések esetén roncsolásmentes vizsgálattal ellenőrzendő varratméretek (a).

A felület alatti hibák esetén a követelményt a 3. ábra tartalmazza, amely húzó igénybevételnek kitett hegesztett kötésekre vonatkozik. A 3. ábra főlegesen tengelyen a varrat jellemző mérete (a beolvadás mélysége, CJP esetén a vastagság), a vízszintes tengelyen pedig a két hiba közötti távolság (MSZ 4310 szerint a közelállás) szerepel. E két tényező függvényében határozható meg a folytonossági hiány legnagyobb értéke.



3. ábra. Az SWC (1994) felület alatti eltérésre vonatkozó követelménye. Húzó igénybevétel.

Az illesztési hibák közül az éleltolódás fáradásbírásra gyakorolt hatását a 4. ábra ismerteti.

A szerkezetek fáradásbírásával és rideg tö-

A szerkesztési táblázatbírálása és főleg törzsvetési kapcsolatban megállapítható, hogy ezekre legnagyobb hatással a felületi hibák vannak. Technikai szempontból a felületi hibák vizsgálata (mágneses, penetrációs és vizuális módszerekkel) nem jelent nehézséget és eredményes, ha kellően felkészült szakemberek, megfelelő eszközökkel végzik a vizsgálatokat.

A hegesztők minősítése és az acél-szerkezetekre vonatkozó követelmények

1993 óta hatályos az MSZ EN 25817 szabvány, amelyet a hegesztők minősítése során használnak. A szabvány 25 eltérés típusra tartalmaz követelményt, ebből 16 felületi, ha feltételezzük a hegesztést kötés mindkét oldaláról történő szemrevételezésének lehetőségét. A szabványban tükröződik a felületi eltérések jelentősége, illetve ezzel összefüggésben a hegesztőkkel szemben támasztott követelmény.

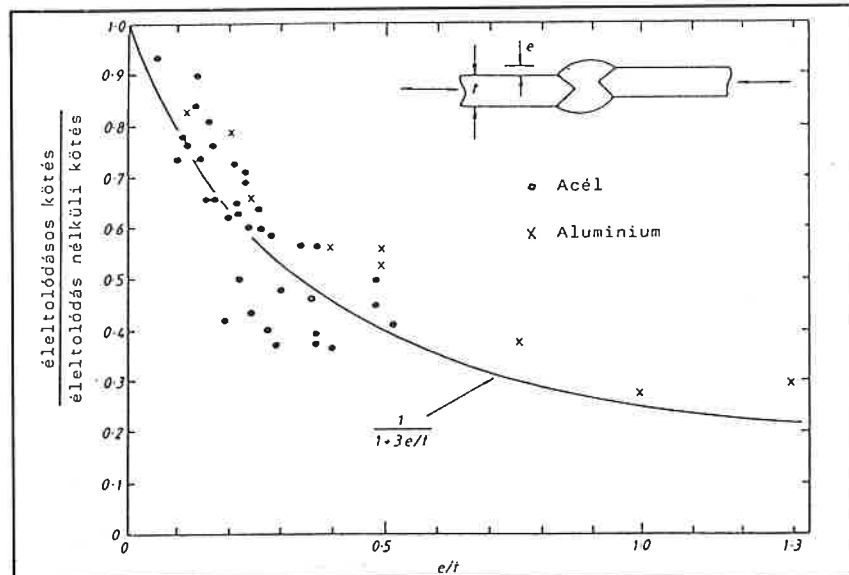
Az MSZ EN 25817 szelleme közel áll az acélszerkezetek (fáradásnak kitett) szerkezetekre vonatkozó előírásokéhoz, ezért célszerű lenne a hazai, MSZ 6441 szabvány előírásait felülvizsgálni, és a hegesztési kötésekre vonatkozó követelményeket az MSZ EN 25817 szabványra támaszkodva megadni.

Megállapítások

Kevés szó esik az építmények hegesztett kötéseinek roncsolásmentes vizsgálatáról és az

eredményekkel szemben támasztott követelményekről.

Kerekén 30 évvel ezelőtti született és akkor európai mércével mérve is korszerű MSZ 6441



4. ábra. Az éleltolódás hatása a fáradásbírásra

és MSZ 6442 szabványaink közül, többszöri részleges módosítást követően, az MSZ 6442-1979 1M (1983, módosítás 1987-ben) szabvány hatályos. Több acélszerkezeti előírás támaszkodik az MSZ 6442 szabványra. Fontos feladat lenne az acélszerkezetekre vonatkozó előírások korszerűsítése. Szükség lenne egyrészt a nemzetközi harmonizáció miatt, másrészt azért, mert a hegesztett acélszerkezetek (hegesztett híd-szerkezetek) tervezési élettartamuk feléhez közeledve előtérbe kerül állapotellenőrzésük, amely műszaki alapok hiányában nehezen végezhető el.

952 092 133

Hivatkozások

- [1] Rittinger, J., Hegedűs, S.: Roncsolásmentes vizsgálatok fejlesztése, Gép XLVI 39 (1994)
- [2] Fehérvári, A., Fuchs, E., Rittinger, J.: Alörésmechanika alkalmazása hegesztett szerkezetek megbízhatóságának és az acélfelhasználás gazdaságosságának fokozása céljából. Vaskut-Ferinov, Budapest (1985)
- [3] Miner, M. A.: Cumulative damage in fatigue, J. Appl. Mech. 12 1959 (1945)
- [4] Maddox, S. J.: Fracture mechanics approach to service load fatigue in welded structures Welding Res. Int. 4 N°2 (1974)
- [5] Basic design rules for cranes. FEM 1070 Section 1.

Dr. Berke Péter–Dr. Michelberger Pál

Hozzászólás

dr. Tóth László: Szerkezetek integritása, Roncsolásmentes vizsgálatok megbízhatósága című cikkéhez

Bevezetés

Öröndösten tartjuk, hogy létezik egy olyan színvonalas folyóirat, amely széles körű áttekintést ad az anyagvizsgálat, állapotellenőrzés, minőségbiztosítás – mondhatni – tudományterületek mindennapi tevékenységéről, eredményeiről, jövőbeni elvárásairól, különösen a hazai ipari gyakorlatra adaptáltan, neves szerzők interpretálásában.

Dr. Tóth László cikke tudományos igényű, a közérthetőséget szem előtt tartva, elemelve tekinti át a magyar ipar közeljövőben bekövetkező karbantartási, javítási, felújítási problémáit a roncsolásmentes anyagvizsgálat segítségével. (Anyagvizsgáló Lapja 1995/2. pp. 8–10.)

Nyilvánvaló, hogy a problémakört a szerző az anyagvizsgálat sajátos szemszögéből vizsgálja, hiszen ez volt a célja, azaz a tudományterületekhez csatlakozó egyéb területeket tudatosan nem tárgyal. Hozzászólásunkban a megkezdett vizsgálódást nem mélységében, hanem kiterjedésében szeretnénk bővíteni.

Hozzászólások

A szerzővel messzemenőig egyetértünk és a megállapításának fontosságát magunk is hangsúlyozzuk, nevezetesen: célszerű, vagy a szerző szavait használva, birtokolni kell az anyagtudomány, a kontinuummechanika és a roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatok felhalmozott tudásanyagát. Mint említettük egyetértünk, viszont világosan látjuk, hogy ez a követelmény maximális, és ahhoz hogy ennek

eleget lehessen tennünk – mi is szeretnénk ennek eleget tenni –, első lépésként egyetemi oktatásunkat kell ez irányba terelnünk, kielégítve az ipar sokszoros látens igényét.

Nehéz lenne ellentmondani annak a megállapításának, hogy a legnagyobb bizonytalansági tényezők hordozói a roncsolásmentes vizsgálatok eredményei, de a tapasztalataink szerint legalább ekkora bizonytalanságot hordoz magában a vizsgálatok eredményeinek nem kellő kritikával fogadása, azaz a hiba veszélyességének megítélése, illetve ehhez csatlakozóan az extrém terhelések megítélése, különös tekintettel egy bonyolult szerkezeti kialakításra.

Nyilvánvaló, hogy egy vitaindító, összefoglaló jellegű cikk kevésbé törekedhet részletekbe menő taglalásra, így a szerző alapkonceptióját nem sérti, ha felhívjuk a figyelmet a járművázszerkezetek olyan tipikus károsodására, mint egy csomóponti tönkremenetel, amely a károsodás adott stádiumában a terhelés átrendeződését eredményezi. Így igen nehézkessé válik a repedésterjedési függvények direkt alkalmazása.

Előfordult, hogy egy helytelen konstrukciós kialakítás, technológiai hiányosságokkal súlyosbítottan egy csomóponti rúd törését igen hamar előidézte, viszont maga a megmaradt csomópont a további üzemeltetés során „hibátlanul” üzemelt. E példával a konstrukciós kialakítás, a technológiai megvalósítás – beleértve a méretpontosságot is – jelentőségére kívántunk utalni, nem tévesztve szem elől a szerkezetek integritási követelményeket.

Igen szemléletesnek tartjuk a biztonsági tényezőhöz rendelt repedéshossz-mérés szükséges megbízhatóságának ábrázolását.

Célszerűnek látjuk hangsúlyozni a terhelés-függvény többváltozós sztochasztikus jellegét, amely a méretezés során további megfontolásokat igényel.

Nagy jelentőségű, a szerző által is kiemelten kezelt gondolat, amely már a konstrukció kialakításánál is figyelembe veszi az ellenőrizhetőség szempontjait, nevezetesen azt, hogy az üzemeltetés során milyen jellegű hibák fordulhatnak elő, és ezek mely anyagvizsgálati módokkal detektálhatóak a legmegbízhatóbban.

Végezetül – a szerzővel egyetértésben – ismételtül rá kívánunk mutatni az egyetemi oktatással szembeni jogos elvárásokra, amelyek nem csak a jelen technológiai, anyagvizsgálati és egyéb mérnöki tudományoknak felelhetnek meg, hanem egyben a jövő igényeinek is elébe mennek. E témakörbe soroljuk mi is a cikkben említett tudományágak egyedi oktatásán kívül, ezek integrált megjelenítését is, mégpedig szakértői szinten is. Külön hangsúlyozzuk a szakértői szintű megfogalmazást, ugyanis vannak olyan tapasztalataink, hogy a szakértők kevésbé építenek az alaptárgyi tudáshalmazra, ezáltal előfordulhatnak olyan sajnálatos példák is, hogy a mérnöki konstrukció igen elegáns, de nem felel meg az ellenőrizhetőség, karbantarthatóság – hogy csak néhány példát említsünk – követelményeinek.